



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ Off nl ungungsschrift
⑩ DE 198 41 487 A 1

⑳ Aktenzeichen: 198 41 487.0
㉔ Anmeldetag: 10. 9. 1998
㉕ Offenlegungstag: 23. 3. 2000

㉑ Int. Cl.⁷:
C 04 B 35/462
C 04 B 35/468
C 03 C 8/04
H 01 G 4/12
H 01 G 4/40

DE 198 41 487 A 1

㉑ Anmelder:
Siemens Matsushita Components GmbH & Co. KG,
81541 München, DE

㉒ Vertreter:
Epping, W., Dipl.-Ing. Dr.-Ing., Pat.-Anw., 82131
Gauting

㉓ Erfinder:
Erfinder wird später genannt werden

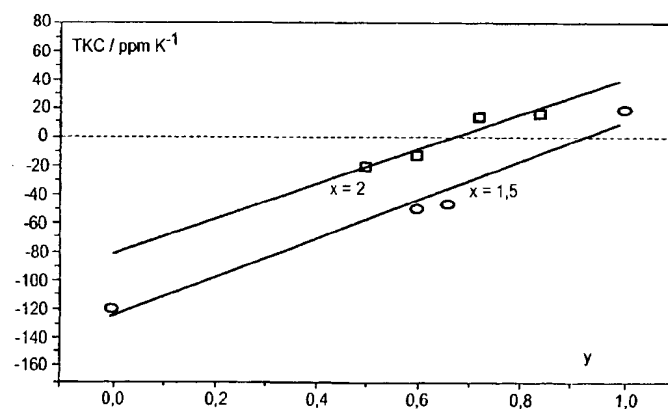
㉔ Entgegenhaltungen:
US 54 93 262
US 54 88 019
US 54 85 132
US 54 58 981
US 53 50 721
US 53 04 521
US 52 92 694
US 52 64 403
US 24 79 140
EP 05 34 802 A1
EP 05 34 801 A1
J. Appl. Phys. 34(1995)5413-17;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

㉕ Reduktionsstabile Keramikmassen

㉖ Reduktionsstabile COG-Keramikmasse hoher Dielektrizitätskonstante, insbesondere für Vielschichtkondensatoren oder LC-Filter mit Cu-Elektroden, auf der Basis des Stoffsystems $\text{BaO-Nd}_2\text{O}_3\text{-Sm}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ im Bereich der Phasenbildung rhombischer Bronzen mit Zusätzen einer Glasfritte aus den Systemen
(A) $\text{ZnO - B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, oder
(B) $\text{K}_2\text{O - Na}_2\text{O - BaO - Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-ZnO - SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3$, oder
(C) $\text{Li}_2\text{O - BaO - B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$,
besitzen die allgemeine Formel
 $\text{Ba}_{11-6x}(\text{Sm}_y\text{Nd}_{1-y})_{8+2x/3}\text{Ti}_{18}\text{O}_{54}$ und einen Zusatz von p Gew.-% Glasfritte mit $1 < x < 2$, $0,5 < y < 1,0$ und $3 < p < 10$.



DE 198 41 487 A 1

Die Erfindung betrifft reduktionsstabile COG-Keramikk Massen hoher Dielektrizitätskonstante nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

- 5 Derartige COG-Keramikk Massen werden z. B. bei Vielschichtkondensatoren und LC-Filtern mit Kupfer-Elektroden eingesetzt und sind für Anwendungen im Hochfrequenzbereich geeignet. Als COG-Keramik werden solche Massen bezeichnet, die einen geringen (< 30 ppm/K) Temperaturkoeffizienten der Kapazität besitzen.

- Im Fall von Materialien mit niedrigen Dielektrizitätskonstanten DK sind bereits technische Lösungen bekannt geworden, die die Gemeinsamsinterung einer Keramikmasse mit Cu-Elektroden unter reduzierenden Bedingungen gestatten, indem die Sinter Temperatur unter die Schmelztemperatur des Kupfers (1083°C) abgesenkt ist. Es werden dazu bestimmte Sinterhilfsmittel, vorzugsweise Zusätze von Glasfritten angewendet, deren stoffliche Basis Bleioxid und/oder Wismut-oxid enthaltende Systeme sind. Um die Oxidation des Kupfers während der Sinterung im Bereich von 1000°C zu unterbinden, muß ein Sauerstoffpartialdruck $< 10^{-2}$ Pa angewendet werden. Zugleich darf ein unterer kritischer Grenzwert des Sauerstoffpartialdrucks nicht unterschritten werden, da andernfalls die Keramik oder ein Bestandteil der zugesetzten Glasfritte der Reduktion unterliegt, was zwangsläufig zur Herabsetzung des Isolationswiderstandes und einer unzulässigen Erhöhung der dielektrischen Verluste führt. Zwecks Vermeidung einer lokalen Unterschreitung dieses unteren kritischen Grenzwertes muß die Entbinderung der Grünkörper vor dem Einsetzen der Sinterung vollständig realisiert sein.

- In den Druckschriften EP 0 534 802 A1, US 5,264,403, US 5, 304, 521, US 5, 350, 721, US 5, 479, 140, US 5, 493, 262, US 5,488,019 und US 5,485,132 werden Keramikmassen der Stoffsysteme $\text{BaO-TiO}_2\text{-SE}_2\text{O}_3$ beschrieben, in denen das Oxid der Seltenen Erdmetalle SE_2O_3 partiell durch Bi_2O_3 ersetzt sein kann, deren Sinterverdichtung teilweise bereits bei 900°C gelingt, indem Glasfrittenanteile, die CdO , PbO oder Bi_2O_3 enthalten, oder auch Gläser des Systems $\text{ZnO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ zugesetzt sind. Dadurch wird eine Gemeinsamsinterung mit Silber-Elektroden an der Luft ermöglicht. Für eine Gemeinsamsinterung mit Kupfer-Elektroden unter Inertbedingungen, z. B. unter Stickstoff, erweisen sich die Systeme gegenüber einer partiellen Reduktion, die eine Herabsetzung des Isolationswiderstandes und Erhöhung der Verluste zur Folge hat, nicht als hinreichend stabil.

- In den Druckschriften EP 0 534 801 A1, US 5,458,981 und US 5,292,694 werden gleichfalls $\text{BaO-TiO}_2\text{-SE}_2\text{O}_3$ -Keramikmassen in Verbindung mit B_2O_3 und ZnO enthaltenden Glaszusätzen zum Zweck der Gemeinsamsinterung mit Silber-Elektroden geschützt. Die Entbinderung unter Luftzutritt verhindert auch in diesen Fällen die Kombination mit Kupfer-Elektroden, sodaß auf Silber oder Silber/Palladium-Legierungen als Elektrodenmaterial zurückgegriffen werden muß. Dem Vorteil einer kostengünstigen Anwendung von Silber-Elektroden steht der Nachteil der hohen Beweglichkeit insbesondere bei hoher Temperatur gegenüber, der zu Migrations-effekten und einer daraus resultierenden Verschlechterung der dielektrischen Eigenschaften Anlaß gibt.

- In der älteren DE-Patentanmeldung 197 49 858.2 wird das für die Herstellung von COG-Kondensatoren und Mikrowellenresonatoren hoher DK genutzte Stoffsystem $\text{BaO-PbO-Nd}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ im Bereich der Phasenbildung rhombischer Bronzen $(\text{Ba}_{1-y}\text{Pb}_y)_{6-x}\text{Nd}_{8+2x/3}\text{Ti}_{18}\text{O}_{54}$ mit $0,6 < x < 2,1$ und $0 < y < 0,6$ für eine Sinterung bei Temperaturen $< 1030^{\circ}\text{C}$ und damit für die Gemeinsamsinterung mit Cu-Elektroden dadurch erschlossen, daß Sinterhilfsmittel, vorzugsweise PbO -freie Glasfritten bestimmter Zusammensetzung, zugemischt werden und eine vollständige Entbinderung unter Stickstoff durch Einwirkung von Wasserdampf bei erhöhter Temperatur unter Ausnutzung des aus der Erdölverarbeitung bekannten Steam-Reforming-Prozesses erreicht wird. Die Anpassung des Temperaturkoeffizienten der Kapazität TKC bzw. des Temperaturkoeffizienten der Resonanzfrequenz TKvO an die für COG-Kondensatoren $\text{TKC} < 30$ ppm/K bzw. LC-Filter mit $\text{TKvO} < 10$ ppm/K gültigen Toleranzgrenzen gelingt, indem Abwandlungen der Zusammensetzung der Keramikmasse durch Zusätze von $\text{Nd}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ oder von $\text{Ba}_{4,5}\text{Sm}_9\text{Ti}_{18}\text{O}_{54}$ vorgenommen werden. Zu dieser technischen Lösung ist einschränkend anzumerken, daß die Stabilität der Keramik durch den PbO -Gehalt begrenzt ist, was eine besonders sorgfältige Entbinderung und die Vermeidung eines zu geringen Sauerstoffpartialdruckes bei der Sinterung erfordert. Die beiden Forderungen sind miteinander verknüpft, da insbesondere auch lokal die unzulässige Unterschreitung der kritischen Sauerstoffpartialdruckgrenze, verursacht etwa durch geringfügige organische Restbestandteile, vermieden werden muß. Andernfalls bildet sich eine eutektische Pb/Cu -Legierung, die bei 924°C schmilzt, das heißt die Elektroden laufen aus.

- Um einen solchen Nachteil zu vermeiden, erweisen sich PbO - und Bi_2O_3 -freie Systeme als geeignet. So ist zum Beispiel die durch Sinterung bei ca. 1400°C darstellbare Keramik $\text{Ba}_4(\text{Sm}_{0,4}\text{Nd}_{0,4})_{9,233}\text{Ti}_{18}\text{O}_{54}$ durch einen TKvO = Wert von $+ 9$ ppm/K und ein Güte-Frequenzprodukt $\text{QvO} = 9000$ (3 GHz) gekennzeichnet [P. Lafez, G. Desgardin, B. Raveau, J. Mater. Sc. 30 (1995) 267]. Vergleichbare Werte werden in der Literatur für die Zusammensetzung $\text{Ba}_{4,2}(\text{Sm}_{0,3}\text{Nd}_{0,7})_{9,2}\text{Ti}_{18}\text{O}_{54}$ angegeben [H. Ohsato, H. Kato, M. Mizuta, S. Nishigaki, T. Okuda, Jpn. J. Appl. Phys. 34 (1995) 5413]. Zur Erniedrigung der für Keramikmassen des Systems $\text{BaO-TiO}_2\text{-Nd}_2\text{O}_3\text{-Sm}_2\text{O}_3$ benötigten hohen Sinter-temperatur werden in der EP 0 701 081 A1 Glasfrittenzusätze vorgeschlagen, die PbO und sogar GeO_2 enthalten, was aus den dargelegten Gründen für die Stabilität gegenüber Reduktion von Nachteil ist.

- Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, COG-Keramikk Massen mit möglichst hoher Dielektrizitätskonstante auf der Basis eines gegenüber Reduktion hochstabilen Stoffsystems herzustellen, das je nach gewählter Zusammensetzung einen TKC-Wert < 30 ppm/K oder einen TKvO-Wert < 10 ppm/K einzustellen gestattet und weiterhin eine Sinter Temperatur anzugeben, die unter der Schmelztemperatur des Kupfers liegt und die Sinterverdichtung in Gegenwart von Kupfer-Innen-elektroden bei Erhaltung der für COG-Vielschichtkondensatoren und LC-Filter benötigten dielektrischen Eigenschaften ermöglicht.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit einer reduktionsstabilen COG-Keramikmasse gelöst, die die Merkmale des Patentanspruchs 1 besitzt.

- 65 Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen angeführt.

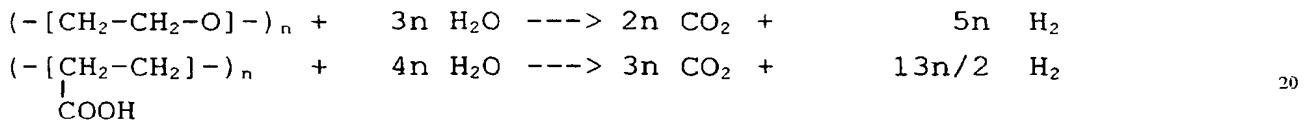
Der Vorteil der Erfindung besteht darin, das für die Herstellung von COG-Kondensatoren und Mikrowellenresonatoren hoher DK genutzte Stoffsystem $\text{BaO-Nd}_2\text{O}_3\text{-Sm}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ im Bereich der Phasenbildung rhombischer Bronzen $\text{Ba}_6-x(\text{Sm}_y\text{Nd}_{1-y})_{8+2x/3}\text{Ti}_{18}\text{O}_{54}$ dadurch zu nutzen, daß ein TKC-Wert < 30 ppm/K in der Reihe $\text{Ba}_{4,5}(\text{Sm}_y\text{Nd}_{1-y})_9\text{Ti}_{18}\text{O}_{54}$

($x = 1,5$) für $y = 0,9$ bzw. in der Reihe $\text{Ba}_4(\text{Sm}_{0,7}\text{Nd}_{0,3})_{9,33}\text{Ti}_{18}\text{O}_{54}$ ($x = 2$) für $y = 0,7$ erreicht und ein TKvO-Wert < 10 ppm/K in der Reihe $\text{Ba}_{4,5}(\text{Sm}_y\text{Nd}_{1-y})_9\text{Ti}_{18}\text{O}_{54}$ ($x = 1,5$) für $y = 1$ bzw. in der Reihe $\text{Ba}_4(\text{Sm}_{0,7}\text{Nd}_{0,3})_{9,33}\text{Ti}_{18}\text{O}_{54}$ ($x = 2$) für $y = 0,8$ gezielt eingestellt werden kann und dabei zugleich eine Sinterung bei Temperaturen $< 1030^\circ\text{C}$ und damit für die Gemeinsamsinterung mit Cu-Elektroden dadurch zu ermöglichen, daß einem solchen Keramikpulver ein Sinterhilfsmittel, vorzugsweise eine Glasfritte bestimmter Zusammensetzung, zugemischt wird.

Es ist weiterhin von Vorteil, daß auf Grund der Kenntnis der Zusammensetzungsabhängigkeit der TKC- bzw. TKvO-Werte in den genannten Reihen eine durch den Zusatz von Glasfritte bedingte Verschiebung der Temperaturkoeffizienten nach positiven oder negativen Werten durch eine gezielte Änderung der Zusammensetzung kompensiert werden kann.

Der Vorteil des Herstellungsverfahrens besteht darin, daß die Sinterverdichtung unter Stickstoff bei einem Sauerstoffpartialdruck $< 10^{-2}$ Pa durchgeführt wird, ohne daß die für COG-Kondensatoren und Mikrowellenkeramiken und damit für LC-Filter typischen Eigenschaften etwa infolge einer partiellen Reduktion verloren gehen.

Die vollständige Entbinderung der Grünkörper gelingt in einem Temperaturbereich unterhalb des Einsetzens der Sinterverdichtung, indem der aus der Petrochemie bekannte Prozeß des Abbaus von Kohlenwasserstoffen oder auch von höher kondensiertem organischen Verbindungen zu Kohlendioxid und Wasserstoff durch Einwirkung von Wasserdampf bei erhöhter Temperatur ("Steamcracking") auf den Keramikprozeß übertragen wird. Zum Beispiel läßt sich aus thermodynamischen Daten für den Abbau von Polyethylenglycol oder Polyacrylsäure als Binder gemäß der Reaktion:



eine geringfügige negative freie Enthalpie abschätzen, so daß der Vorgang der Entbinderung der Grünkörper, der zwecks Vermeidung einer Oxidation des Kupfers unter Stickstoff (Sauerstoffpartialdruck $< 10^{-2}$ Pa) vorgenommen werden muß, vollständig ablaufen kann.

Die Erfindung wird an folgenden Ausführungsbeispielen näher erläutert.

Ausführungsbeispiele

Entsprechend der allgemeinen Formel $\text{Ba}_{6-x}(\text{Sm}_y\text{Nd}_{1-y})_{8+2x/3}\text{Ti}_{18}\text{O}_{54}$ werden die Zusammensetzungen der Keramikmassen in den Reihen $x = 1,5$ und $x = 2$ als homogene Mischphasen durch Variation des y -Wertes entsprechend der in Fig. 1 und Fig. 2 dargestellten Abhängigkeit des TKC- und TKvO-Wertes in den Grenzen $0 < y < 1$ variiert und der Zusammensetzungsparameter y bei gegebenem Wert $x = 1,5$ oder $x = 2$ mit der Zielsetzung festgelegt, daß die Kriterien $\text{TKC} < \pm 30$ ppm/K für COG-Kondensatoren und $\text{TKvO} < 10$ ppm/K für LC-Filter erfüllt werden.

In bekannter Weise wird die Keramikmasse nach dem Mischen der Rohstoffe BaCO_3 , Nd_2O_3 , Sm_2O_3 und TiO_2 durch Kalzinieren bei 1250°C mit einer Haltezeit von mindestens 6 Stunden hergestellt. Zwecks Gewinnung von Vergleichswerten wird das Umsetzungsprodukt ohne Zusatz von Glasfritte einem Mahlprozeß unterworfen (mittlere Korngröße ca. $0,6 \mu\text{m}$), das erhaltene Pulver anschließend in ein Granulat überführt und letzteres durch Pressen zu scheibenförmigen Proben S oder zu für Resonanzmessungen geeigneten zylinderförmigen Körpern Z verdichtet und diese bei 1400°C 6–10 h gesintert.

In Tabelle 1 sind die durch Sintern bei hoher Temperatur erhaltenen Eigenschaften von COG-Keramikproben $\text{Ba}_{6-x}(\text{Sm}_y\text{Nd}_{1-y})_{8+2x/3}\text{Ti}_{18}\text{O}_{54}$ angegeben und zwar für scheibenförmige Proben S in den Abmessungen $\varnothing 12\text{--}13$ mm, Dicke $0,6$ – $0,7$ mm, die nach dem Aufbringen von Ag-Elektroden mittels Ag-Paste und Einbrennen im Bereich von 1 MHz elektrisch vermessen wurden und zylinderförmige Proben Z, deren dielektrische Eigenschaften nach einer Resonanzmethode im GHz-Bereich elektrodenlos ermittelt wurden. TKC-Wert und TKvO-Wert sind über den Temperaturkoeffizienten der Dielektrizitätskonstante $\text{TK}\epsilon$ und den thermischen Ausdehnungskoeffizienten α entsprechend den Gleichungen

$$\text{TKC} = \text{TK}\epsilon + \alpha \text{ und } \text{TKvO} = -\text{TK}\epsilon/2 - \alpha$$

miteinander verknüpft, so daß eine Umrechnung der beiden Größen ineinander möglich ist. Für den Ausdehnungskoeffizienten $\alpha_{25-100^\circ\text{C}}$ sind an den Proben Werte zwischen $6,6$ und $8,1$ ppm/K ermittelt worden.

Die Eigenschaftswerte lassen erkennen, daß die Proben 1 und 5 bis 9 die Kriterien für COG-Kondensatoren und die Proben 5, 8 und 9 die für LC-Filter gesetzten Kriterien erfüllen. Die am QvO-Wert erkennbare dielektrische Güte der Keramik fällt bei ansteigendem x -Wert umso höher aus je größer das Verhältnis von $\text{SE}_2\text{O}_3/\text{BaO}$ in der Phasenzusammensetzung ist.

Derartige Keramiken gewährleisten auf Grund der Abwesenheit von PbO eine erhöhte Stabilität gegenüber Reduktion bei der Sinterung unter Inertbedingungen, z. B. unter Stickstoff.

Bei den scheibenförmigen Proben S wurden $\tan\delta$ und $\text{TKC}_{+25-+85^\circ\text{C}}$ (ppm/K) (TKC) jeweils bei 1 MHz gemessen. QvO ist in THz bzw. (GHz) angegeben, während $\text{TKvO}_{+25-+85^\circ\text{C}}$ einerseits aus TKC berechnet ($\text{TKvO}(\text{h})$) und andererseits an den Proben gemessen ($\text{TKvO}(\text{g})$) wurde und zwar in ppm/K. Die mit * bezeichneten Werte wurden im Bereich $+25\text{--}125^\circ\text{C}$ bestimmt.

Tabelle 1

Probe	x	y	prel. /%	ε	$\tan\delta$ (S)	TKC (S)	Qv0 (Z)	TKv0 (b)	TKv0 (g) (Z)
1	1	0,6	96,1	88	$< 1 \cdot 10^{-3}$	+7	4,90 (4,61)	+9	?
2	1,5	0	-	85,5	$< 1 \cdot 10^{-3}$	-100 -111*	7,68 (4,80)	+47	+76
3	1,5	0,6	97,2	86,5	$< 1 \cdot 10^{-3}$	-48 -50*	8,95 (4,70)	+21	+28,2
4	1,5	2/3	97,3	86,0	$< 1 \cdot 10^{-3}$	-43 -47*	7,85 (4,71)	+18	+23,5
5	1,5	1	98,0	83,8	$< 1 \cdot 10^{-3}$	+20 +22*	8,19 (4,78)	-14	-2,7
6	2	0,5	98,1	83,7	$< 1 \cdot 10^{-3}$	-20* -24	10,77 (4,77)	+6	+15,7
7	2	0,6	98,2	83,4	$< 1 \cdot 10^{-3}$	-13* -13	10,70 (4,77)	+3	+11,0
8	2	0,72	97,4	82,7	$< 1 \cdot 10^{-3}$	+10* +13	10,56 (4,79)	-8	+3,8
9	2	0,84	97,7	81,7	$< 1 \cdot 10^{-3}$	+10* +15	10,50 (4,83)	-9	+2,1

Zur Gemeinsamsinterung mit Kupferelektroden wird dem durch Kalzination bei 1250°C erhaltenen Keramikpulver im Bereich $3 < p < 10$ m-% eine Glasfritte des Systems

(A) $\text{ZnO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$,

vorzugsweise der bestimmten Zusammensetzung $(\text{ZnO})_{58,5}(\text{B}_2\text{O}_3)_{31,45}(\text{SiO}_2)_{10,05}$ oder des Systems

(B) $\text{K}_2\text{O-Na}_2\text{O-BaO-Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-ZnO-SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3$

vorzugsweise der bestimmten Zusammensetzung

$(\text{K}_2\text{O})_{4,5}(\text{Na}_2\text{O})_{3,5}(\text{BaO})_{2,3}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{2,1}(\text{ZrO}_2)_{2,9}(\text{ZnO})_{4,4}(\text{SiO}_2)_{53,5}(\text{B}_2\text{O}_3)_{26,7}$ oder des Systems

(C) $\text{Li}_2\text{O-BaO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$,

vorzugsweise der bestimmten Zusammensetzung $(\text{Li}_2\text{O})_{7,0}(\text{BaO})_{42,0}(\text{B}_2\text{O}_3)_{22,0}(\text{SiO}_2)_{29,0}$

zugesetzt und die Mischung in wäßriger Suspension einem Mahlprozeß unterzogen, bis eine mittlere Korngröße von 0,6 μm bei annähernd monomodaler Verteilung erreicht ist. Der Schlicker wird nach Filtration und Trocknen unter Zugabe eines Preßhilfsmittels zu einem Granulat weiterverarbeitet, aus dem scheiben- oder zylinderförmige Grünkörper gepreßt werden oder aber unmittelbar nach der Zugabe eines geeigneten organischen Bindersystems zu Folien verarbeitet bzw. durch Sprühen in ein preßfähiges Granulat überführt.

Durch Aufbringen von Cu-Paste mittels Siebdruck wird die Folie mit einer für LC-Filter bestimmter Auslegung bzw. einer für COG-Kondensatoren bestimmter Kapazität und Bauform geeigneten Elektrodenstruktur versehen, so daß nach dem Stapeln, Laminieren und Cutten Grünteile erhalten werden, die der Entkohlung und Sinterung zugeführt werden können.

Zur Feststellung der dielektrischen Keramikeigenschaften erweisen sich mit Cu-Elektroden versehene scheibenförmige Proben S (\varnothing 12–13 mm, Dicke 0,6–0,7 mm) bzw. zylinderförmige Preßkörper Z (\varnothing 10,0 mm, Höhe 4,6 mm) als geeignet. Letztere werden zur Vermessung im GHz-Bereich ohne Elektroden gesintert.

Kondensatoren mit Cu-Innenelektroden gelangen in der Ausführungsform 1206 (100 pF) und 0603 (20 pF) zur Vermessung. Bei LC-Filtern wird bei den an Zylinderproben ermittelten Keramikeigenschaften die Güte im GHz-Bereich durch den Aufbau und die Eigenschaften der Cu-Elektrodenstruktur bestimmt, sodaß Ausführungsbeispiele zur Charakterisierung der Keramik an dieser Stelle entfallen.

Zur Entbinderung sind die Grünkörper in einem Ofen mit kontrollierter Atmosphäre einem Gasstrom von Reinststickstoff (2 bis 5 l/min, Rest-Sauerstoffpartialdruck $< 10^{-2}$ Pa) ausgesetzt, dem zwischen 2 und 23 g Wasserdampf pro

Stunde zudosiert werden. Zunächst wird auf 400°C aufgeheizt, 2 h gehalten, anschließend auf 680 bis 750°C gebracht, wobei die vollständige Entbinderung eine Reaktionszeit bis zu 6 h beansprucht. Anschließend wird die Wasserdampfzufuhr bis auf etwa 1 g/h zurückgenommen und bei 900 bis 1000°C die Sinterverdichtung durchgeführt.

Die Cu-Außenmetallisierung der COG-Kondensatoren findet, der vorgeschriebenen Einbrennkurve der betreffenden Kupferpaste folgend, in einem gesonderten Prozeßschritt gleichfalls unter Reinststickstoff in Gegenwart von Wasserdampf statt, um eine reduzierende Veränderung der Keramik durch in der Paste enthaltene Binderbestandteile zu vermeiden.

In den folgenden Tabellen 2, 3 und 4 sind Beispiele von reduktionsstabilen COG-Keramikproben S (scheibenförmig) und Z (zylindrisch) aufgeführt, die auf der Basis von Keramikmassen der in Tabelle 1 angegebenen Zusammensetzungen 7 (Tabelle 2), 9 (Tabelle 3) und 5 (Tabelle 4) unter Zusatz der Glasfritte (A), (B) oder (C) erhalten wurden, wobei der Gehalt an Glasfritte jeweils in m-% angegeben ist. $\tan\delta$ wurde bei 1 MHz bestimmt und Q_{v0} ist in MHz bzw. (GHz) angegeben. TKC im Bereich +25/125°C und TKv0 im Bereich +25/55°C (Tabelle 3) bzw. +25/85°C (Tabelle 4) sind in ppm/K angegeben. Weiterhin sind Sintertemperatur T in °C und -zeit t in h angeführt.

Tabelle 2

Probe	T / t	prel/%	ϵ	$\tan\delta$	TKC	Q_{v0}	TKv0
S1/8% (A)	975 / 6	97	58	$<1 \cdot 10^{-3}$	-30		
S2/8% (A)	1000 / 6	99	61	$<1 \cdot 10^{-3}$	-29		

Tabelle 3

Probe	T / t	prel/%	ϵ	$\tan\delta$	TKC	Q_{v0}	TKv0
S3/8% (A)	975 C/6	98	57	$<1 \cdot 10^{-3}$	-51		
S4/8% (A)	1000 / 6	98	57	$<1 \cdot 10^{-3}$	-25		
S5/6% (B)	1030 / 6	96	55	$<1 \cdot 10^{-3}$	-38		
Z1/6% (A)	1000 / 6	99	58			1,0 (5,54GHz)	-3,1
Z2/6% (A)	975 / 6	96	55			0,83 (5,65GHz)	+4,8
Z3/6% (A)	975 / 6	98	54			0,88 (5,94GHz)	-7,1

Tabelle 4

Probe	T / t	prel/ %	ϵ	$\tan\delta$	TKC	Qv0	TKv0
S6/6% (A)	1000 / 6	99	63	$<1 \cdot 10^{-3}$	+14		
S7/8% (B)	1030 / 6	98	52	$<1 \cdot 10^{-3}$	-20		
S8*/6% (C)	1030 / 6	98	72	$<1 \cdot 10^{-3}$	-46		
Z4/6% (A)	1000 / 6	99	63			1,5 (5,7GHz)	-8,9
Z5/6% (A)	980 / 1	98	61			2,2 (5,8GHz)	-9,2
Z6/8% (B)	1030 / 6	98	52			1,4 (5,8GHz)	-7,3
Z7+/6% (C)	1030 / 6	98	71			2,4 (5,2GHz)	+5,9
Z7*/6% (C)	1030 / 6	98	72			1,5 (5,1GHz)	-12,3
Z7°,6% (C)	1030 / 6	98	72			0,6 (5,1GHz)	

Die Proben S1(A) und S2(A) verdeutlichen, daß die Zumischung von 8% der Glasfritte (A) zur Keramikmasse 7 der Tabelle 1 eine Sinterverdichtung in Gegenwart von Cu-Elektroden bereits bei 975°C ermöglicht, dabei aber zugleich eine Absenkung des TKC-Wertes von -13 ppm/K auf -29 ppm/K auftritt, so daß die an eine COG-Kondensatorkeramik gestellten Materialeigenschaften in Verbindung mit der erreichten niedrigen Sintertemperatur und Cu-Elektroden im Grenzbereich noch erfüllt werden. Der DK-Wert erfährt gegenüber der glasfreien Keramik erwartungsgemäß eine Erniedrigung und zwar von 82 auf ca. 60.

Der gleiche Effekt wird bei den Proben S3(A), S4(A) und S5(B) beobachtet, denen die Keramikmasse 9 der Tabelle 1 zugrundeliegt. Ausgehend von +15 ppm/K fällt die durch die Wechselwirkung mit der Glasfritte (A) bzw. (B) bedingte Verschiebung des TKC-Wertes nach negativen Werten hier größer aus, sodaß die für COG-Kondensatoren zutreffende Toleranzgrenze bereits überschritten ist. Der Verschiebungseffekt ist von der Zusammensetzung des Glases und von der Sintertemperatur abhängig.

Für die Zylinderproben Z1(A) bis Z3(A), die gleichfalls auf der Keramikmasse 9 der Tabelle 1 basieren, ergeben sich in der Kombination mit Glas (A) dagegen TKv0-Werte, die innerhalb der für Hochfrequenzanwendungen, z. B. für LC-Filter, gültigen Toleranzgrenze liegen. Als unzureichend erweist sich bei diesen Proben das Güte-Frequenzprodukt. Ausgehend von $Qv0 = 10,5$ THz bei 4,83 GHz Meßfrequenz für die glasfreie Keramikmasse 9 wird die Güte durch die Wechselwirkung mit Glas (A) bei der angewandten Sintertemperatur und -zeit auf Werte < 1 THz herabgesetzt. Diese Werte liegen unter der für LC-Filter geforderten Toleranzgrenze von ca. 2 THz bei 5 GHz Meßfrequenz.

Den Proben S6(A), S7(B) und S8*(C) sowie Z4(A), Z5(A), Z6(B) Z7(C), Z7*(C) und Z7°(C) liegt jeweils die Keramikmasse 5 der Tabelle 1 in der Kombination mit Glas (A), (B) und (C) zugrunde. Die Nd-freie, d. h. als Seltene Erdkomponente nur noch Sm_2O_3 enthaltende Verbindung, erweist sich gegenüber der Wechselwirkung mit den Glasfritten als Sinterhilfsmittel kinetisch generell als stabiler.

Ausgehend von einem TKC-Wert von +20 ppm/K für die Keramikmasse 5 verursacht die Zumischung von 6% Glas (A) bei Sinterung der Probe S6(A) bei 1000°C lediglich eine Abnahme auf +14 ppm/K. Für das Güte-Frequenzprodukt wird bei der entsprechenden Probe Z4(A) gegenüber Z1(A) bis Z3(A) (Keramikmasse 9) ein erhöhter Qv0-Wert von 1,5 THz gefunden, der für LC-Filteranwendungen allerdings immer noch zu niedrig ist.

Die niedrige Sintertemperatur von 1000°C, der relativ hohe DK-Wert und die vergleichsweise geringe Modifizierung des TKC-Wertes lassen die Materialkombination Keramik 5 nach Tabelle 1 mit Glas (A) als vorteilhaft für Kondensatoren erscheinen.

Daß die Abnahme des Güte-Frequenzprodukts auf einer partiellen strukturellen Veränderung der Keramikverbindung infolge Wechselwirkung mit der Glasfritte beruht, zeigt der Vergleich von Probe Z4(A) mit Probe Z5(A). Verminderung von Sintertemperatur und -zeit auf 980°C bzw. 1 h ergeben $Qv0 = 2,2$ THz, wobei ein noch günstigerer Wert für den Temperaturkoeffizienten der Resonanzfrequenz $TKv0 = -9,2$ ppm/K erhalten wird.

Die Kombination der Keramikmasse 5 mit Glas (B) in den Proben S7(B) und Z6(B) stellt sich als weniger günstig heraus. Die Sintertemperatur muß auf 1030°C erhöht werden, der TKC-Wert wird von +20 ppm/K auf -20 ppm/K abgesenkt und das Güte-Frequenzprodukt Qv0 fällt nicht höher aus als bei der Materialkombination Keramikmasse 5 mit Glas (A) bei gleicher Sinterzeit.

Am vorteilhaftesten für LC-Filteranwendungen ist die Kombination der Keramikmasse 5 mit Glas (C). Dieser Vorteil kommt jedoch nur dann voll zur Geltung, wenn das Glas entsprechend der Bezeichnung (C1000) lediglich bei 1000°C geschmolzen und durch Abschrecken in Wasser frittiert wurde. Nur dann wird, wie die Probe Z7(C1000) zeigt, selbst bei

1030°C Sintertemperatur und 6 h Sinterzeit ein vergleichsweise hoher TKV0-Wert von 2,4 THz bei 5,2 GHz Meßfrequenz erhalten, der den für LC-Filter geltenden Anforderungen entspricht.

Schmelzen von Glas (C) bei 1100 (Proben S8*, Z7*) bzw. noch ungünstiger bei 1200°C (Probe 27°) führt zu einer Glasstruktur, die eine wesentlich stärkere degradierende Wirkung auf die Keramikverbindung $5 \text{ Ba}_{4,5}\text{Sm}_5\text{Ti}_{18}\text{O}_{54}$ auslöst. Probe Z7+ wurde dagegen durch Schmelzen von Glas bei 1000°C erhalten.

In Tabelle 5 sind Meßergebnisse aufgeführt, die an Kondensatoren K mit Cu-Innenelektroden der Kapazität von ca. 100 pF (1206) mit 4 Cu-Innenelektroden und ca. 20 pF (0603) mit 7 Cu-Innenelektroden erhalten wurden. Ihnen liegt die Keramikmasse 5 der Tabelle 1 in der Kombination mit 6% Glas (A) zugrunde. Die für COG-Kondensatoren geltenden Kriterien werden hinsichtlich des TKC-Wertes erfüllt. Hervorzuheben sind der hohe Isolationswiderstand R_{Is} und der niedrige tanδ-Wert. Letzterer wurde bei 1 MHz und 100 bzw. 200 MHz ermittelt. Weiterhin zeichnen sich die Kondensatoren mit Cu-Innenelektroden durch einen vergleichsweise niedrigen Ersatzserienwiderstand ESR aus. Dieser wurde mittels einer Meßbrücke (MB) bei 500 MHz sowie durch S-Parameter-Messung (S) bei 1,1 GHz erfaßt.

Der HALT-Test (200°C/200 V) belegt die Betriebssicherheit der Kondensatoren. Ein Ausfall durch Abfall des Isolationswiderstandes unter 70% des Ausgangswertes wurde unter den angegebenen Bedingungen nicht festgestellt. Es ergaben sich für die Bauform 1206 folgende Werte: $R_{Is,50\%} > 0,7 R_{Is,Anfang}$ nach 2550 min und $R_{Is,50\%} > 0,5 R_{Is,Anfang}$ nach 5300 min.

Die Kapazität C ist in pF, der TKC in ppm/K und der Isolationswiderstand R_{Is} in MΩ angegeben. tanδ ist für zwei verschiedene Frequenzen angeführt während der ESR-Wert in mΩ angegeben ist.

Tabelle 5

Bauform	C	TKC	R _{Is}	tanδ	tanδ	ESR (MB)	ESR (S)
1206	106±1	+17	9·106	0,5·10 ⁻³ (1MHz)	(4,2±0,3)· 10 ⁻³ (100 MHz)	163 ± 18 (500 MHz)	
0603	26 ± 1	+ 10	4 106	0,5 10 ⁻³ (1MHz)	(2,3±0,2)· 10 ⁻³ (200 MHz)	123±13 (500 MHz)	80 (1,1 GHz)

Patentansprüche

1. Reduktionsstabile COG-Keramikmasse hoher Dielektrizitätskonstante, insbesondere für Vielschichtkondensatoren oder LC-Filter mit Cu-Elektroden, auf der Basis des Stoffsystems $\text{BaO-Nd}_2\text{O}_3\text{-Sm}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ im Bereich der Phasenbildung rhombischer Bronzen mit Zusätzen einer Glasfritte aus den Systemen

(A) $\text{ZnO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, oder

(B) $\text{K}_2\text{O-Na}_2\text{O-BaO-Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-ZnO-SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3$ oder

(C) $\text{Li}_2\text{O-BaO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$,

gekennzeichnet durch die allgemeine Formel $\text{Ba}_{6-x}(\text{Sm}_y\text{Nd}_{1-y})_{8+2x/3}\text{Ti}_{18}\text{O}_{54} + p \text{ Gew.-% Glasfritte}$ mit $1 < x < 2$, $0,5 < y < 1,0$ und $3 < p < 10$.

2. Reduktionsstabile Keramikmasse nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Reduktionsstabilität der COG-Keramikmasse durch eine einphasige Keramik gebildet wird, die keine Zusätze leicht reduzierbarer Oxidbestandteile wie PbO oder Bi₂O₃ enthält.

3. Reduktionsstabile Keramikmasse nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die COG-Keramikmasse durch geeignete Wahl der Zusammensetzungsparameter x und y einer einphasigen Keramik, z. B. x = 1 und y = 0,6 oder x = 1,5 und 0,5 < y < 1,0 oder x = 2 und 0,3 < y < 1,0 bei einem Wert p = 3, 6 oder 8, auf den Temperaturkoeffizienten der Kapazität TKC < ± 30 ppm/K für COG-Kondensatoren oder den Temperaturkoeffizienten der Resonanzfrequenz TKV0 < 10 ppm/K für Hochfrequenzanwendungen, z. B. LC-Filter, eingestellt ist.

4. Reduktionsstabile Keramikmasse nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die COG-Keramikmasse einen phasenhomogenen Aufbau aufweist, der durch Verbindung einer definierten Struktur mit entsprechender Phasenbreite einen hohen Wert für das Güte-Frequenzprodukt besitzt und für eine Anwendung im GHz-Bereich, z. B. für LC-Filtern, geeignet ist.

5. Reduktionsstabile Keramikmasse nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Glasfritten die Zusammensetzungen

$(\text{ZnO})_{58,5}(\text{B}_2\text{O}_3)_{31,45}(\text{SiO}_2)_{10,05}$,

$(\text{K}_2\text{O})_{4,5}(\text{Na}_2\text{O})_{3,5}(\text{BaO})_{2,3}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{2,1}(\text{ZrO}_2)_{2,9}(\text{ZnO})_{4,4}(\text{SiO}_2)_{53,5}(\text{B}_2\text{O}_3)_{26,7}$

oder

$(\text{Li}_2\text{O})_{7,0}(\text{BaO})_{42,0}(\text{B}_2\text{O}_3)_{22,0}(\text{SiO}_2)_{29,0}$

aufweisen.

DE 198 41 487 A 1

6. Verwendung einer reduktionsstabilen Keramikmasse nach einem der Ansprüche 1 bis 5 für COG-Kondensatoren oder LC-Filter.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

FIG 1

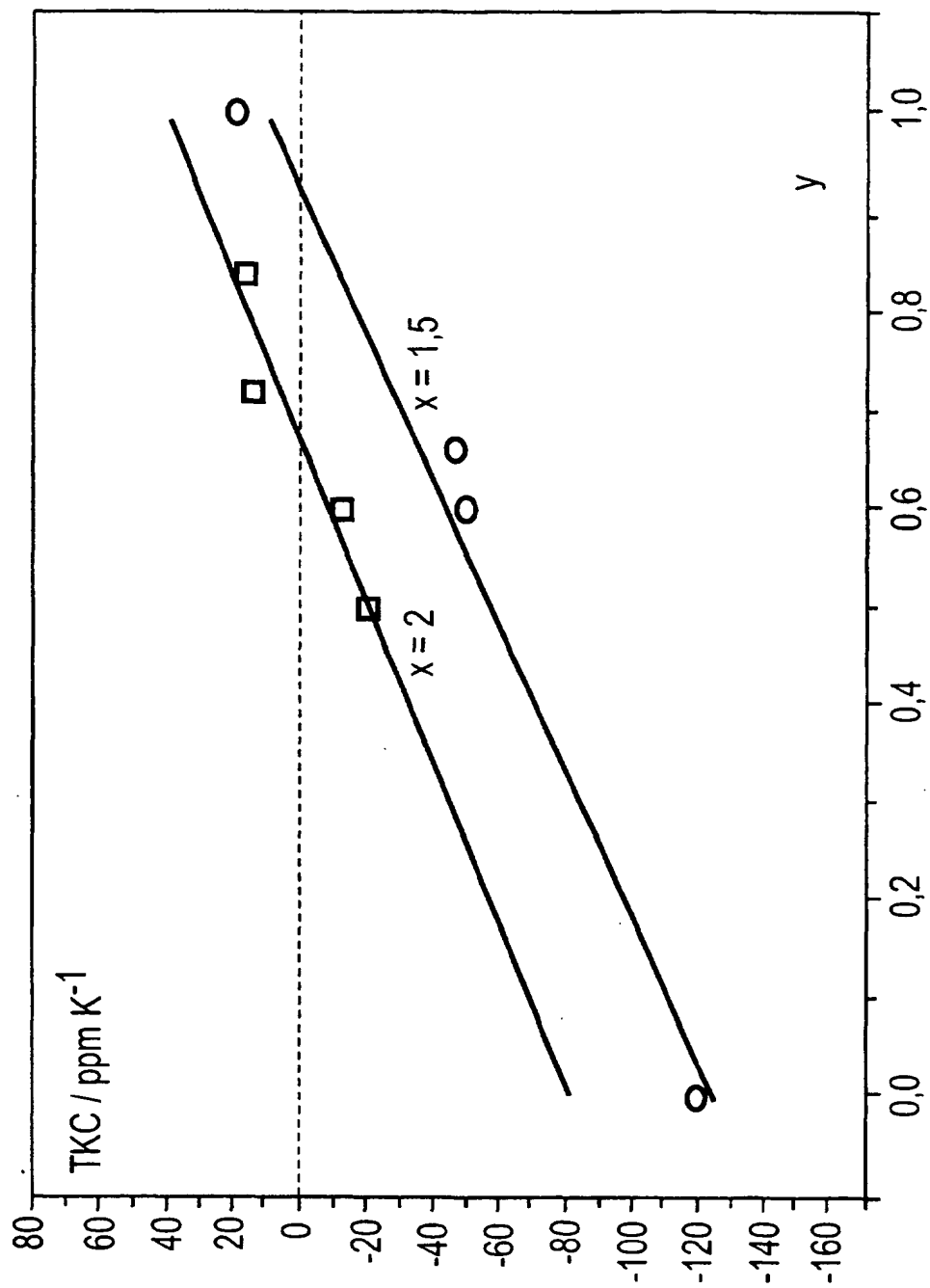


FIG 2

